新疆暴雨洪涝灾害损失的时空特征及其影响因素①

王 妮[1,2,3]， 崔彩霞[2]， 刘 艳[3]
（1. 新疆师范大学地理科学与旅游学院，新疆 乌鲁木齐 830054； 2. 新疆维吾尔自治区气象局，新疆 乌鲁木齐 830002；
3. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所，新疆 乌鲁木齐 830002）

摘 要： 根据1984—2016年新疆暴雨洪涝灾情资料，采用趋势分析、线性回归和相关性分析方法，对新疆暴雨洪涝灾害损失的时空特征进行分析。以年降水量和GDP为指标，探究新疆暴雨洪涝灾害格局的影响因素。结果表明：① 新疆暴雨洪涝灾害部分地区呈加重趋势，其年内分布差异大，多集中在夏季；② 空间上，新疆暴雨洪涝灾害年均频次最高的县市与年均损失最高的县市并不完全对应，说明新疆暴雨洪涝灾害年均频次与年均损失相关性不高；③ 从全疆来看，损失与年降水量、GDP均具有显著性正相关，R^2 分别为0.56和0.57；④ 在一定程度上降水量的增多，使得新疆部分地区暴雨洪涝灾害损失呈上升趋势，发生暴雨洪涝灾害时经济发达地区损失较高。

关键词： 暴雨洪涝；灾害损失；时空格局；影响因素；新疆

受全球气候变暖的影响[1-3]，我国自然灾害发生的频率和强度有所上升，影响范围不断扩大[4]。暴雨洪涝灾害是由长期暴雨或者降水产生的大量积水与径流淹没低洼地区造成人口、经济财产损失的自然灾害[5]，我国的暴雨洪涝灾害大部分是由暴雨引发的，其发生频繁、影响范围广、造成经济损失严重[6]，给社会经济发展、人民生命财产带来严重危害。新疆地处西北内陆干旱区，绝大部分地区降水较少，但是新疆有高山阻挡湿润气流，所以在山区容易形成较多的降水，这些降水成为很多河流的来源。当降水量超过一定范围时往往会引发洪水，给当地的农业生产及人民生活造成很大的损失[7-10]。统计资料显示，1984—2016年新疆暴雨洪涝灾害受灾人口约 5.90×10^6 人、死亡人数约490人、失踪约70人以上；造成的紧急转移安置人口约 1.70×10^5 人，农作物受灾面积约 2.69×10^6 hm^2，暴雨洪水造成约 2.80×10^5 间房屋倒塌。因此，需要对新疆洪灾损失的时空格局进行分析，掌握新疆洪涝灾害时空分布规律对开展洪灾风险管控具有重要的意义，为新疆防灾减灾工作提供科学有效的参考依据。

近些年，学者们研究了暴雨洪涝灾害时空分布。如吴吉东等[11]利用气象灾害损失和发生频次进行研究，关键指标选取的是死亡人口与直接经济损失，对我国气象灾害灾情近65 a的变化特征进行了统计。Barredo[12]发现，1970—2005年欧洲的洪水泛滥，但气候变化不是主要原因，而是人口增加，财富暴露和脆弱性增加的结果。赵珊珊等[13]采用多种气象灾害造成的单项损失进行了研究，暴雨洪涝与干旱灾害是影响我国最主要的气象灾害，而死亡人口与直接经济损失是暴雨洪涝灾害造成损失最多的。王静等[14]利用1984—2013年灾害普查资料，统计并分析了山东省2001—2006年主要气象灾情时空分布特征，使用ArcGIS软件绘出主要气象灾害灾情的空间分布图。慕尼黑自1978年以来一致在编制世界自然灾害地图，并多次更新，为管理和经济决策提供参考[15]。袁艺[16]运用灾情指数综合选取了8个基本指标来评估我国东、中、西部3大区域以及省级区域，但是对新疆的分析很少。因此，本文对新疆暴雨洪涝灾害时空变化特征进行了分析，并以年降水量为指标，对新疆暴雨洪涝灾害损失的影响因素进行研究，为新疆暴雨洪涝灾害防灾减灾提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究概况

新疆地理位置于34°25′～48°10′N，73°40′～

① 收稿日期：2019-04-23； 修订日期：2019-06-04
基金项目：国家自然科学基金-新疆联合基金（U1703121）；中国科学院战略性先导科技专项（XDA20100306）资助
作者简介：王妮（1992-），女，硕士研究生，主要从事气候变化洪涝灾害研究. E-mail：wn@idm.cn
通讯作者：崔彩霞. E-mail：ccx@idm.cn

96°18′E。新疆地形复杂多样,三山夹两盆是新疆的地貌特征,境内有山地、绿洲和戈壁沙漠,属于温带大陆性气候。新疆的水汽主要来源于纬向西风环流,其次是北冰洋的干冷气流,特殊的地理环境与气候特点,致使降雨量少却比较集中,约 80% 的降水发生在山区地带,山区的降水与冰雪融水为新疆平原绿洲提供了丰富的水源[17]。

1.2 数据来源

本文使用的数据:灾情数据,包括 1984—2016 年新疆各县(市)暴雨洪涝灾情数据,新疆气象局信息中心提供;新疆 72 个站点 2000—2014 年的逐年降水资料,新疆气象局信息中心提供;地区生产总值来自国家统计局数据下载;基础地理信息资料,为新疆自然资源厅公共服务下载的新疆维吾尔自治区地图标准画法示意图。

1.3 分析方法

本文选取直接经济损失、死亡人口进行统计分析,首先,对新疆 1984—2016 年暴雨洪涝灾害的年内变化进行分析,灾情内容涵盖直接经济损失、多发时间、各县(市)发生频次最高月份、各县损失最高月份;其次,对新疆 1984—2016 年暴雨洪涝灾害的年际变化进行统计分析,内容涵盖直接经济损失和损失率及死亡人口与死亡率的年际变化、受灾比的年际变化;统计分析了新疆 1984—2016 年暴雨洪涝灾害年均频次与年均损失的空间分布和变化。利用 ArcGIS 软件对新疆各县(市)发生频次最高月、各县(市)损失最高月及新疆 1984—2016 年暴雨洪涝灾害年均频次与年均损失空间分布和变化制图。

(1) 以一元线性回归模型的斜率表征新疆暴雨洪灾频次与损失数据变化的趋势性,当洪灾频次与灾害损失的斜率为正值时,说明此数据的序列是呈增长趋势,而当洪涝灾害的频次与灾害损失的斜率为负值时,说明该数据的序列是呈减少趋势,由此可以确定各县(市)暴雨洪灾频次与损失的变化趋势。

(2)相关分析方法是研究随机变量间的相关关系,并对有相关关系的随机变量统计出相关程度与相关方向,本文使用 Spearman 相关系数进行计算,其计算公式为:

$$r_s = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \sum_i (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

式中:r_s 表示随机变量之间的 Spearman 相关系数;x、y 表示随机变量;i 为所有变量的个数。

(3) 新疆洪灾受灾比是以暴洪受灾影响的县(市)的个数与总县(市)个数的比值,比值结果作为暴洪灾害范围的大小,是衡量暴雨洪涝灾害灾情程度的重要指标。

2 暴雨洪涝灾害特征

2.1 时间分布

2.1.1 年内变化 新疆降水少蒸发量大的区域比较多,但是山区受气候条件与地貌环境的影响易形成大降水或暴雨,因此比较集中的短时强降雨更易引发洪涝灾害,进而造成重大损失。如图 1 所示,新疆的暴雨洪涝灾害损失最多是在 5—8 月,尤其是夏季的 6—8 月损失最严重,占总损失的 79% 以上。说明新疆暴雨洪涝灾害损失在年内的分布状况是不均匀的。如图 2a 所示,新疆各个县(市)暴雨洪涝灾害的集中月份表现出一定的季节性,新疆的东北部及东南部主要集中在 6—7 月,新疆的西南和西北部主要集中在 6—8 月,这与王慧等[18]研究的新疆暴雨地理分布和降水空间的分布比较相似,分布规律大体是新疆北部多于南部,东部多于西部,山区周边多于盆地周边地区,地理空间位置的差异性是导致区域差异的主要原因。从图 2b 得知,新疆灾害损失最多的月份是 7 月,主要原因是这一时段强降雨比较集中,容易引发洪涝灾害导致财产损失,损失严重的区域与暴洪频次最高的区域具有较高的一致性,发生洪灾时损失最严重的将是种植业较多与经济比较发达的地区。说明经济和种植业发达地区遇到暴雨洪涝灾害遭受的损失比较惨重,应根据实际受灾程度提供相应的预防措施。

2.1.2 年际变化 根据 1984—2016 年新疆暴雨洪涝灾害资料逐条整理并统计,得出造成直接经济损失 2.49×10^{10} 元左右。年平均直接经济损失达

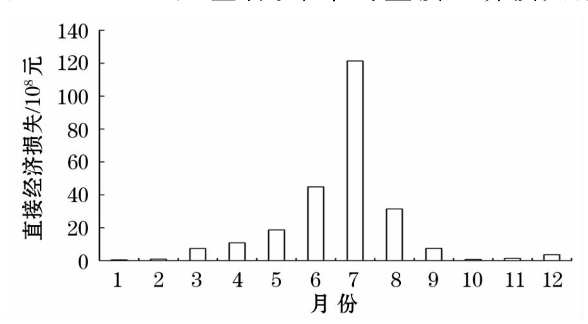


图 1 1984—2016 年新疆暴雨洪涝灾害损失月际变化

Fig. 1 Monthly variation of rainstorm and flood disaster losses in Xinjiang from 1984 to 2016

8.00×10^8 元以上,如图 3a 所示,1999 年暴雨洪涝灾害直接经济损失最高,约为 4.65×10^9 元,是新疆暴雨洪涝灾害直接经济损失最小年(1985 年为 3.38×10^7 元)的 137.67 倍。新疆暴雨洪涝灾害造成的直接经济损失呈现出逐年上升的趋势,相应的损失率也呈增加趋势,其中 1999 年、2007 年与 2009 年是最严重的 3 a,损失率达到了 10% 以上(图 3b)。根据 1984—2016 年灾害数据集统计分析,新疆暴雨洪涝灾害造成的年平均死亡人口约为 15.83 人(图 3c)。1996 年暴雨洪涝灾害死亡人数最高(50 人),主要是因为 1996 年 7 月新疆发生了百年不遇的特大洪水,较长时间较大范围的强降水是造成这次特大洪水的主要原因[19];从死亡人口和死亡率的趋势线来看,增长趋势并不明显。如图 4 所示,新疆洪涝灾害受灾比最高在 2009 年(83% 左右),最低在 1985 年(14% 左右),1984—2016 年新疆平均受灾比为 38%,说明新疆暴雨洪涝灾害的影响范围比较集中,新疆山区受到暴雨洪涝灾害的影响较大,总体上升趋势不是很显著。

2.2　空间分布

从图 5a 可以看出,新疆暴雨洪灾频发区主要集中在博尔塔拉蒙古自治州、阿勒泰地区、克孜勒苏柯尔克孜自治州、伊犁哈萨克自治州、哈密地区、喀什地区。其中博尔塔拉蒙古自治州的温泉县年均频次最高,每年平均 2.36 次。从损失的空间分布(图 5b)来看,主要集中在哈密地区的哈密市、伊吾县和巴里

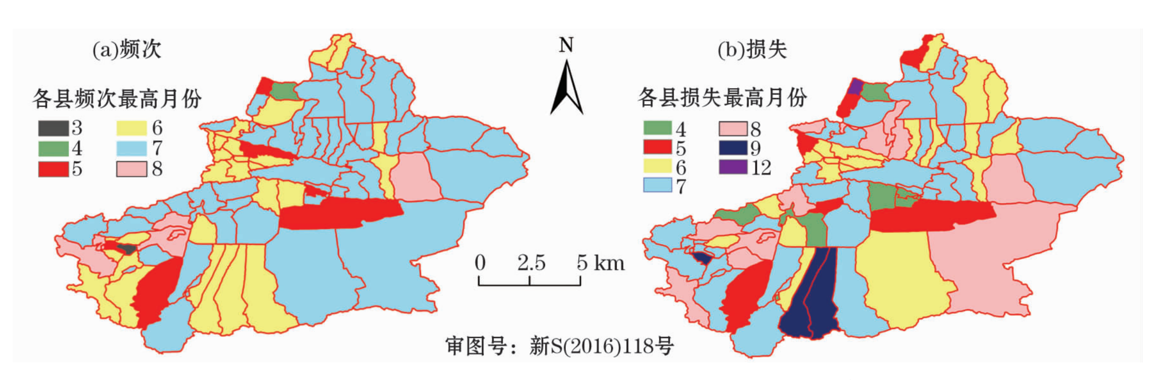


图 2　1984—2016 年新疆各县暴雨洪涝灾害发生频次和损失最高月份统计

Fig. 2　Statistics on the highest frequency of rainstorms and floods and the highest monthly losses in all counties of Xinjiang from 1984 to 2016

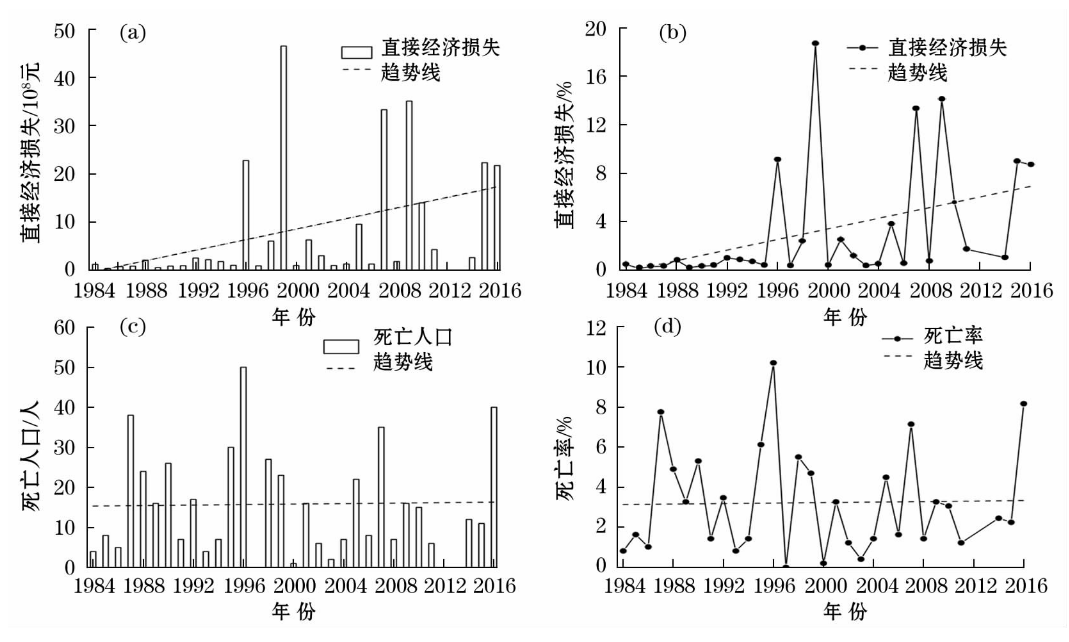


图 3　1984—2016 年新疆暴雨洪涝灾害直接经济损失和损失率及死亡人口和死亡率的年际变化

Fig. 3　From 1984 to 2016, the direct economic loss and loss rate of rainstorms and floods in Xinjiang, as well as the inter-annual changes of death population and mortality rate

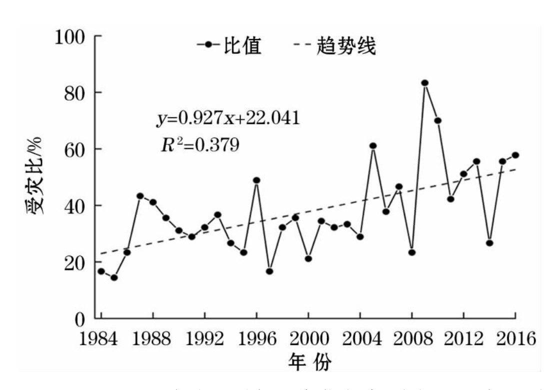


图 4 1984—2016 年新疆暴雨洪涝灾害受灾比的年际变化

Fig. 4 Inter-annual changes of the proportion of rainstorms and floods in Xinjiang from 1984 to 2016

坤哈萨克自治县,喀什地区的喀什市、疏勒县和疏附县,石河子市和昌吉自治州的阜康县,其中哈密市损失最高,约为 3.57×10^8 元,与灾害频次分布不一致,新疆暴雨洪涝灾害发生频次最多的县市并不一定是损失最严重的,损失最严重的县市并不是灾害发生次数最多的县市,说明新疆暴雨洪涝灾害发生频次与灾害损失呈弱相关关系。

新疆大部分区域暴雨洪涝灾害发生的频次和损失都呈增加趋势(图 5c 和图 5d),其中暴雨洪涝灾害频次增加最多的区域主要集中在伊犁地区的尼勒克县和新源县、博尔塔拉蒙古自治州的温泉县。损失增长最快的区域主要集中在哈密地区的哈密市和伊吾县。说明损失增长速度变快可能与当地的经济增长速度有关,经济越发达的地方一旦发生暴雨洪涝灾害,所遭受的损失也大。

3 损失变化的影响因素

3.1 降水因素

新疆的水文地理环境相对复杂,夏季山区及周边暴雨较多,选取 2000—2014 年直接经济损失与降水量数据分析二者之间的关系。通过比较直接经济损失与降水量的月变化和年变化分析降水量与直接经济损失的相关性。从月变化(图 6)可以看出,1—7 月随着降水量的增加直接经济损失也相应增加,7 月达到最大值,7—10 月随着降水量减少,直接经济损失也相应减少。从年变化来看,2000—2005 年降水量与直接经济损失的变化相反,随着降水量的变化,直接经济损失也对应变化的年份是 2005—2009 年、2010—2011 年与 2012—2014 年,其中增加的年份是 2007 年、2009 年、2013 年;减少的年份是 2006 年、2008 年、2011 年与 2014 年。利用 SPSS 软件,分析了 1984—2015 年新疆暴雨洪涝灾害损失与降水量之间的关系,呈显著正相关,在置信度(双侧)为 0.01 时,R^2 是 0.561,表明造成新疆暴雨洪涝灾害最主要的原因是降水,所以需要及时做好降雨致灾临界雨量阈值的研究,提前预报预警避免严重的经济损失。

3.2 社会经济因素

人类的活动对暴雨洪涝灾害的影响具有复杂

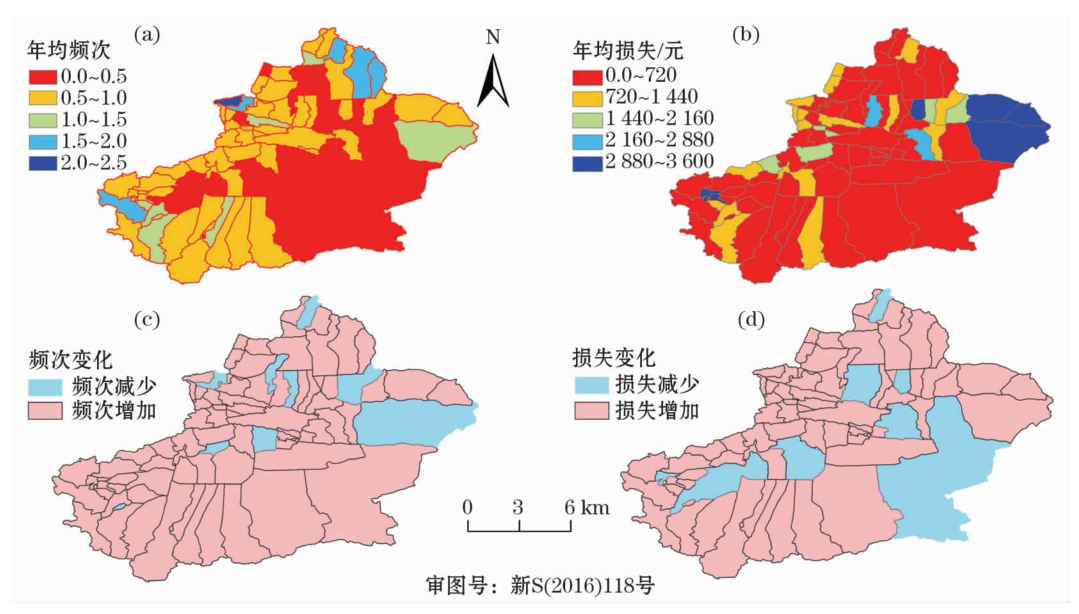


图 5 1984—2016 年新疆暴雨洪涝灾害年均频次和年均损失空间分布和变化

Fig. 5 From 1984 to 2016, the annual frequency of rainstorms and floods and the spatial distribution and changes of annual losses in Xinjiang

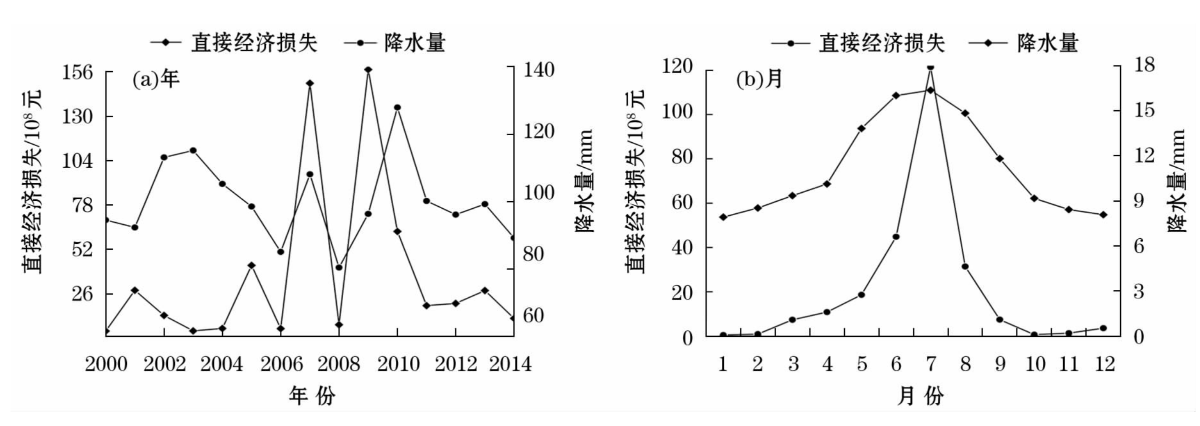


图 6　降水量与直接经济损失的年、月变化

Fig. 6　Annual and monthly changes in precipitation and direct economic losses

性,一方面是人口、经济的快速增长,加大了暴雨洪涝灾害的暴露度,在发展过程中,对土地的不合理利用如城市的开发、道路建设、采石采矿等人为活动,使得天然草皮遭到破坏[20],导致植被的覆盖度降低,进而影响下雨时的土地蓄水能力,一旦发生暴雨洪涝会迅速造成水土流失,山体滑坡等现象,进而造成严重的经济损失。本文利用 SPSS 软件对 1993—2016 年新疆暴雨洪涝灾害损失与当地 GDP 之间的关系进行了分析,在置信度(双侧)为 0.01 时,R^2 = 0.57,呈显著性正相关,说明新疆区域暴雨洪涝灾害损失与社会经济发展有一定的关系。随着新疆社会经济的发展,经济相对发达的地区如果遭遇暴雨洪涝的袭击,引起的灾害损失也会相应增加,即社会经济因素和降水一样不可忽视。

4　结 论

(1) 新疆部分区域暴雨洪涝灾害严重,经济损失较大。暴雨洪涝灾害年内变化是不均匀分布的,主要是在夏季强降雨比较集中,该变化与新疆的降雨规律极其相似。

(2) 新疆暴雨洪涝灾害在空间上主要集中在阿尔泰山南麓的阿勒泰地区,准噶尔西部的博尔塔拉蒙古自治州,南疆西部的克孜勒苏柯尔克孜自治州和北疆西部天山北部伊犁河谷的伊犁哈萨克自治州,该区域地形对洪水有直接影响,海拔高度越低,地形起伏越小,越容易发生洪水。在今后的研究中需加强区域地形的影响因素分析。

(3) 新疆暴雨洪涝灾害损失变化受强降水的影响最大,从全疆来看,新疆暴雨洪涝灾害损失与年降水量、GDP 均表现出显著的正相关。在新疆社会经济较发达地区遭遇洪水产生的损失远远高于经济欠发达地区。

参考文献(References):

[1] 王少平,姜逢清,吴小波,等. 1961—2010 年西北干旱区极端降水指数的时空变化分析[J]. 冰川冻土,2014,36(2):318 - 326. [Wang Shaoping,Jiang Fengqing,Wu Xiaobo,et al. Temporal and spatial variability of the extreme precipitation indices over the arid regions in Northwest China from 1961 to 2010[J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2014,36(2):318 - 326.]

[2] 符传博,丹利,吴涧,等. 全球变暖背景下新疆地区近 45 a 来最大冻土深度变化及其突变分析[J]. 冰川冻土,2013,35(6):1410 - 1418. [Fu Chuanbo,Dan Li,Wu Jian,et al. Variation and abrupt change of maximum depth of frozen soil over Xinjiang under the background of global warming,1961 - 2005[J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2013,35(6):1410 - 1418.]

[3] 叶柏松,赵成义,姜逢清,等. 近 300 a 来塔里木河流域旱涝灾害特征分析[J]. 冰川冻土,2014,36(1):173 - 182. [Ye Baisong,Zhao Chengyi,Jiang Fengqing,et al. Characteristics of the flood and drought disasters in the Tarim River basin in recent 300 years[J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2014,36(1):173 - 182.]

[4] 景垠娜,尹占娥,殷杰,等. 基于 GIS 的上海浦东新区暴雨内涝灾害危险性分析[J]. 灾害学,2010,25(2):58 - 63. [Jing Yinna,Yin Zhan'e,Yin Jie,et al. GIS-based analysis on rain storm water logging hazards in Pudong New Area in Shanghai[J]. Journal of Catastrophology,2010,25(2):58 - 63.]

[5] 马宗晋. 中国重大自然灾害及减灾对策(总论)[M]. 北京:科学出版社,1994:11 - 21. [Ma Zongjin. China's Major Natural Disasters and Disaster Reduction Countermeasures(General)[M]. Beijing:Science Press,1994:11 - 21.]

[6] 王伏村,许东蓓,张德玉,等. 西北地区东部一次大暴雨天气过程的诊断分析[J]. 干旱区研究,2014,31(3):452 - 462. [Wang Fucun. Xu Dongbei,Zhang Deyu,et al. Diagnostic analysis on a rainstorm in the Eastern part of Northwest China[J]. Arid Zone Research,2014,31(3):452 - 462.]

[7] 刘星. 新疆灾荒史[M]. 乌鲁木齐:新疆人民出版社,1999:11 - 68,169 - 238. [Liu Xing. History of Disasters in Xinjiang[M].

Urumqi:Xinjiang People's Publishing House,1999:11 - 68,169 - 238.]

[8] 刘新伟,段海霞,赵庆云.甘肃一次区域性大暴雨分析[J].干旱区研究,2010,27(1):128 - 134.[Liu Xinwei,Duan Haixia,Zhao Qingyun. Analysis on a regional rainstorm in Gansu Province[J]. Arid Zone Research,2010,27(1):128 - 134.]

[9] 耿峻岭,高玲,陈建江,等.新疆呼图壁河流域水文特征分析[J].干旱区研究,2005,22(3):371 - 376.[Geng Junling,Gao Ling,Chen Jianjiang. Analysis on the Hydrological in the Hutubi River Basin,Xinjiang[J]. Arid Zone Research,2005,22(3):371 - 376.]

[10] 西北内陆河区水旱灾害编委会.西北内陆河区水旱灾害[M].郑州:黄河水利出版社,1999,1 - 229.[Northwest Inland River Area Flood and Drought Disaster Editorial Committee. Flood and Drought Disaster in Northwest Inland River Area[M]. Zhengzhou:Yellow River Conservancy Press,1999:1 - 229.]

[11] 吴吉东,傅宇,张洁,等.1949—2013年中国气象灾害灾情变化趋势分析[J].自然资源学报,2014,29(9):1520 - 1530.[Wu Jidong,Fu Yu,Zhang Jie,et al. Meteorological disaster trend analysis in China:1949 - 2013[J]. Journal of Natural Resources,2014,29(9):1520 - 1530.]

[12] Barredo J I. Major flood disasters in Europe:1950 - 2005[J]. Natural Hazards,2007,42(1):125

[13] 赵珊珊,高歌,黄大鹏,等.2004—2013年中国气象灾害损失特征分析[J].气象与环境学报,2017,33(1):101 - 107.[Zhao Shanshan,Gao Ge,Huang Dapeng,et al. Characteristics of meteorological disaster losses in China from 2004 to 2013[J]. Journal of Meteorology and Enviroment,2017,33(1):101 - 107.]

[14] 王静,刘焕彬,曹洁,等.1984—2013年山东省主要气象灾情特征分析[J].内蒙古气象,2015,15(5):53 - 56.[Wang Jing,Liu Huanshan,Cao Jie,et al. Analysis on the main disaster characteristics in Shandong Province from 1984 to 2013[J]. Meteorology Journal of Inner Mongolia,2015,15(5):53 - 56.]

[15] Berz G,Kron W,Lost T,et al. World map of natural hazards:a global view of the distribution and intrnsity of significant exposures[J]. Natural Hazards,2001,23(2/3):443

[16] 袁艺.2000—2007年省级区域自然灾害灾情分析[J].自然灾害学报,2011,20(1):156 - 162.[Yuan Yi. Analysis of regional disaster situation at provincial level from 2000 to 2007[J]. Journal of Natural Disasters,2011,20(1):156 - 162.]

[17] 孙希华.新疆自然灾害类型区划研究[J].山东师范大学学报(自然科学版),1993,8(4):112 - 115,122.[Sun Xihua. Study on the regionalization of natural disasters in Xinjiang[J]. Journal of Shandong Normal University(Natural Sciences Edition),1993,8(4):112 - 115,122.]

[18] 王慧,毛炜峄,李元鹏,等.新疆易灾暴雨的风险区划[J].冰川冻土,2011,33(6):1407 - 1413.[Wang Hui,Mao Weiyi,Li Yuanpeng,et al. Risk zoning of torrential rain which easily causes damage in Xinjiang region[J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2011,33(6):1407 - 1413.]

[19] 董玉文,胡江,杨胜发.新疆洪水成因及特性分析[J].重庆交通学院学报(自然科学版),2004,23(2):118 - 122.[Dong Yuwen,Hu Jiang,Yang Shengfa. Genesis and characteristic analysis of flood in Xinjiang Province[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University(Natural Science Edition),2004,23(2):118 - 122.]

[20] 焦锋,张晓萍,韦红波,等.关于新疆水土流失若干问题的讨论[J].干旱区研究,2000,17(1):49 - 53.[Jiao Feng,Zhang Xiaoping,Wei Hongbo,et al. Concerning some problem discussions of soileroson of Xinjiang[J]. Arid Zone Research,2000,17(1):49 - 53.]

Temporal-spatial characteristics and the influencing factors of rainstorm-flood disasters in Xinjiang

WANG Ni[1,2,3], CUI Cai-xia[2], LIU Yan[3]

(1. *College of Geography Science and Tourism*, *Xinjiang Normal University*, *Urumqi* 830054, *Xinjiang*, *China*;
2. *Uygur Autonomous Regional Meteorological Service*, *Urumqi* 830002, *Xinjiang*, *China*;
3. *Institute of Desert Meteorology*, *CMA*, *Urumqi* 830002, *Xinjiang*, *China*)

Abstract: Based on the data from rainstorm-flood disasters in Xinjiang from 1984 to 2016, linear regression and correlation analysis methods are used to analyze the spatial and temporal characteristics of the losses caused by these disasters. Using annual precipitation and GDP as indicators to explore the influencing factors of rainstorm and flood patterns in Xinjiang, the results showed that some areas of Xinjiang show an aggravating trend (The maximum area is Ili Kazakh Autonomous Prefecture and Altay Prefecture). The annual distribution varied, especially in the summers. Spatially, the counties and cities with the highest annual rainstorm-flood disaster frequency in Xinjiang did not completely correspond to the counties and cities with the highest annual losses. This indicates that the annual average frequency of rainstorm-flood disaster in Xinjiang is not highly correlated with the annual loss. Across the whole of Xinjiang, these losses showed significant positive correlations with annual precipitation and GDP ($R^2 = 0.56$ and 0.57, respectively). With increases in precipitation, especially heavy rain, flood disaster losses in some areas of Xinjiang are increasing. When rainstorms and floods occur, losses are greater in developed areas.

Key words: rainstorm-flood; disaster loss; temporal-spatial distribution; contributing factors; Xinjiang